

**МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ТРУБНОЙ СТАЛИ 17Г1С, ПОДВЕРГНУТОЙ ИМПУЛЬСНОЙ  
МЕХАНО-ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

*А.В. ЯКОВЛЕВ<sup>2</sup>, И.В. ВЛАСОВ<sup>1</sup>, А.С. СМЕРНОВА<sup>1</sup>,  
Р.В. СТАНКЕВИЧ<sup>2</sup>, Ю.И. ПОЧИВАЛОВ<sup>1</sup>, Д.В. ВАЛУЕВ<sup>3</sup>, С.В. ПАНИН<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

<sup>2</sup>Томский политехнический университет

<sup>3</sup>Юргинский технологический институт ТПУ

E-mail: alexandryakovl@gmail.com

Основной проблемой при обработке деталей с помощью методов поверхностного пластического деформирования, включая фрикционную обработку, является локализация процессов преимущественно в поверхностном слое [1]. При этом происходит повышение твёрдости, а также нивелируются либо трансформируются в сжимающие негативно влияющие на усталостную прочность и коррозионную стойкость растягивающие напряжения, возникающие при кристаллизации металла после сварки [2,3]. Однако глубина такого слоя крайне мала. Повышение интенсивности пластического деформирования поверхностного слоя без эффективной диссипации энергии в нижележащие слои может привести к его разрушению, сопровождаемому формированием множества микротрещин. Нагрев детали (послесварочный отжиг) позволяет менять структуру металла по всей глубине (например, для снятия сжимающих напряжений), однако такой способ модификации не подходит для деталей прошедших многоступенчатую термическую обработку, а также экономически весьма затратен [4].

В ИФПМ СО РАН разрабатывается комбинированный способ обработки, который позволяет существенно увеличить глубину слоев, в которых развиваются процессы пластической деформации и массопереноса. Это не должно сопровождаться разрушением поверхностного слоя, а также существенным нагревом материала. Известно, что при ударном механическом воздействии упрочнение материала происходит в результате прохождения и многократного переотражения в объёме металла упругих волн, генерируемых взаимодействующим на поверхность бойками (инструментом). Высокая вязкость трубных сталей не способствует эффективному пластическому деформированию далее поверхностного слоя, в результате чего воздействие упругих УЗ-волн преимущественно преобразуется в тепло (рассеивается) и пластическую деформацию зёрен. В то же время в нижележащих слоях в определенной степени может происходить интенсивное деформирование, сопровождающееся повышением плотности дислокаций и двойников.

В качестве развития ультразвукового воздействия предложено целенаправленное возбуждение кристаллической решётки и интенсификации процессов массопереноса за счет пропускания высокочастотного импульсного электрического тока в сочетании с механическим воздействием. Такая обработка должна повысить глубину и интенсивность модификации вместе с более равномерным распределением пластической деформации. На основании этого, в ИФПМ СО РАН, разработана импульсная механо-электрофизическая обработка (ИМЭО).

В качестве объекта исследования была выбрана конструкционная низколегируемая сталь 17Г1С широко применяемая как в строительстве трубопроводных систем, так и для изготовления сварных изделий. Одним из наиболее эффективных способов упрочнения сварных соединений вязких сталей является поверхностное пластическое деформирование. Ее развитие в поверхностном слое увеличивает твердость, снижает шероховатость, возникают сжимающие напряжения, которые могут заметно повышать усталостную долговечность [7, 8]. Относительно несложным и доступным методом поверхностного пластического деформирования является ультразвуковая обработка (УЗО). Однако такая обработка приводит к существенной модификации лишь поверхностного слоя, при

разрушении или истирании которого механические свойства снижаются до прежнего уровня. Таким образом, разрушение детали будет происходить с прежней интенсивностью.

Целью данного исследования является изучение влияния импульсной механо-электрофизической обработки на структуру и механические свойства сварного соединения стали 17Г1С.

В ходе проведённых исследований показано, что в процессе УЗО основное воздействие концентрируется в поверхностном слое (не более 500 мкм). Микроструктура образца после ИМЭО имеет схожую структуру, однако, пластическая деформация в поверхностном слое развивается в меньшей степени. Это подтверждают результаты измерения микротвёрдости: образцы после УЗО имеют в среднем более высокие ее значения по сравнению с образцами после ИМЭО.

При статическом растяжении образцов со сварными соединениями (рис. 1), подвергнутыми УЗО и ИМЭО, наблюдается повышение предела прочности по сравнению с необработанным сварным швом. Также наблюдается снижение величины относительного удлинения; данный эффект в наименьшей степени проявляется в образцах с неразъемным соединением после ИМЭО. Сохранение пластичности после ИМЭО, в первую очередь, объясняется более равномерной модификацией структуры в поверхностном слое за счёт добавления импульсного электрофизического воздействия. Дальнейшие исследования авторов будут нацелены на оптимизацию режима ИМЭО с целью более эффективной структурной модификации сварного шва (на большие глубины), а также для улучшения структуры и повышения свойств материала в зоне термического влияния.

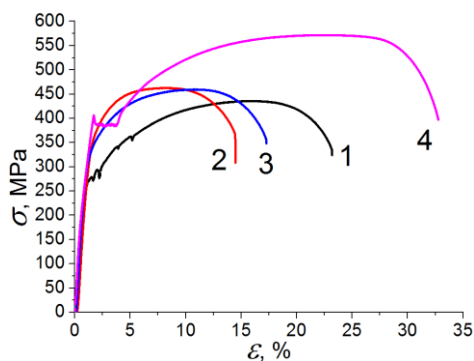


Рисунок 1 – Кривые статического растяжения: 1) необработанный сварной шов; 2) шов после УЗО; 3) шов после ИМЭО; 4) сталь в состоянии поставки (без шва)

**Благодарность:** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00679.

#### **Список литературы**

1. Панин В.Е., Сергеев В.П., Панин А.В., Почивалов Ю.И. Наноструктурирование поверхностных слоев и нанесение наноструктурных покрытий - эффективный способ упрочнения современных конструкционных и инструментальных материалов // ФММ. - 2007. - Т.104, № 6. - С. 1-11.
2. Романова В.А., Зиновьева О.С., Балохонов Р.Р., и др. Влияние модифицированного поверхностного слоя на эволюцию деформационного рельефа в поликристаллических стальных образцах. Численное моделирование // Физ. мезомех. - 2013. - Т. 16, № 6. - С. 59-69.
3. Абрамов В. О., Абрамов О. В., Артемьев В. В. и др. Мощный ультразвук в металлургии и машиностроении. - М.: Янус-К, 2006. — 688 с.
4. Сараев, Ю. Н., Лебедев, В. А., Новиков, С. В. Анализ существующих методов управления структурой металла сварного шва // Russian Internet Journal of Industrial Engineering . 2016, p16-26. 11p.